

Análisis de la Interacción de Grietas en Placas

M en C Ricardo G. **Rodríguez Cañizo**, M en C Juan A. **Beltrán Fernández**, M en C Maribel A. **Mendoza Núñez**- Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Unidad Culhuacán. Av. Santa Ana No. 1000 Col. San Francisco Culhuacán C.P. 04430 Del. Coyoacán. Tel. 57296000 Ext. 73073. Fax: 5656-5316 e-mail: ricname@hotmail.com

1. Resumen.

Este artículo presenta un estudio sobre la interacción de grietas en placas, en particular se analizan el caso de una placa con dos grietas colineales y el de una placa con dos grietas escalonadas. El propósito es determinar el comportamiento del campo de esfuerzos en la punta de la grieta (KI) para este tipo de singularidades, y compararlo con el campo que genera una sola grieta. Se efectúa el cálculo del Factor de Intensidad de Esfuerzos (FIE), ya que es el parámetro dentro de la mecánica de fractura que define la magnitud de los esfuerzos en la punta de la grieta. Este cálculo (FIE), se efectúa de tres maneras, la primera de ellas, es por medio de un análisis experimental empleando la técnica fotoelástica, la segunda es a través de un análisis numérico por medio de ANSYS, y por último se hace uso de medios analíticos.

Cabe mencionar, que existe un apartado en donde a través del paquete FRANC2D/L, se hace la simulación de la propagación de las grietas para ambos casos, analizando la manera en la cual falla el material dependiendo de la configuración de sus grietas.

2. Introducción.

La falla de los elementos mecánicos a causa de la presencia de grietas, es muy frecuente en Ingeniería, por eso es importante predecir como y cuando sucederá esta falla. Pero desafortunadamente, el análisis necesario para este efecto no es tan simple, ya que intervienen muchos factores determinantes para la propagación de las grietas. En primer lugar, la forma y ubicación de las grietas son parte importante para su análisis; por otro lado, las grietas no se encuentran aisladas, sino que interactúan con otras grietas, o bien con características propias del elemento mecánico como lo son orificios, ranuras, muescas, entre otros, complicando aún más el problema.

Este punto es de vital importancia, ya que el conocer de manera confiable el campo de esfuerzos producido por la interacción de grietas, es factor determinante en aplicaciones de la Mecánica de Fractura en Ingeniería. Actualmente existen métodos diseñados para resolver problemas con singularidades de este tipo, hablando específicamente de la interacción de grietas colineales y escalonadas. Estas reglas se basan en el establecimiento de grietas equivalentes al grupo de grietas original, o

bien en métodos iterativos, que por lo general son procedimientos algo complejos.

De esta manera, existe incertidumbre sobre la exactitud de los resultados que se obtienen a partir de estos métodos, de ahí que sea necesario analizar el alcance de las soluciones propuestas que brinda el uso de métodos experimental-numéricos.

Por tanto, el propósito de este artículo es mostrar el estado del campo de esfuerzos en placas agrietadas sometidas a cargas de tensión, enfocando el estudio a la interacción de grietas colineales y escalonadas. En nuestro caso, el estudio se realiza de manera numérico-experimental. El análisis experimental se efectuó por medio de la prueba fotoelástica por transmisión, que ha demostrado ser una técnica sencilla y de buenos resultados; por su parte, el análisis numérico se efectuó por medio de programas de computo que trabajan el método del elemento finito, como lo son ANSYS y FRANC2D/L.

3. Desarrollo.

3.1 Análisis Experimental.

La primera etapa del estudio comprende el análisis experimental del problema de interacción de grietas, para este fin se emplea la técnica fotoelástica por transmisión, y en específico el método de las proyecciones. Haciendo uso de este método, se determinaron todos los valores de KI para cada uno de los casos analizados aquí.

3.1.1. Placa con una Grieta Lateral.

Para este caso se analizaron diez condiciones de carga, que varían desde 147.15 N hasta una carga máxima de 2452.5 N. Una de las fotografías correspondientes que ilustran el campo de esfuerzos generado se muestra en la figura 1. En ella se observa claramente que el campo de esfuerzos producido es totalmente simétrico, lo que implica un estado de esfuerzo uniaxial, y por tanto la existencia única de KI.

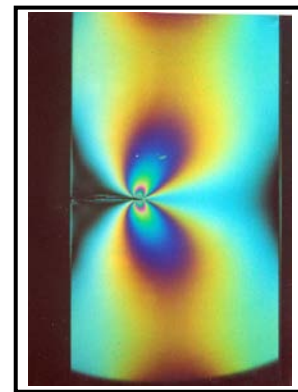


Fig. 1. Campo de esfuerzos observado en una placa con una grieta lateral.

La tabla 2. muestra los resultados obtenidos del cálculo de KI, en ella se indica cada uno de los valores de carga aplicada a la placa.

3.1.2 Placa con dos Grietas Colineales.

Para este caso se analizaron ocho condiciones de carga, los valores de las mismas se muestran en la tabla 1., al igual que en el caso anterior se fotografió el patrón de franjas isocromáticas, en donde la figura 2 muestra una de las fotografías correspondientes a este caso.

Tabla 1. Resultados de KI para el caso de una placa con una grieta lateral

| CARGA APLICADA P [N] | FACTOR DE INTENSIDAD DE ESFUERZOS K_I [MPa.√m] |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 147.15 | 0.11417 |
| 245.25 | 0.13172 |
| 343.35 | 0.38083 |
| 490.81 | 0.48743 |
| 686.7 | 0.67474 |
| 981 | 0.94518 |
| 1275.3 | 1.47780 |
| 1569.6 | 1.83741 |
| 1962 | 2.24563 |
| 2452.5 | ----- |

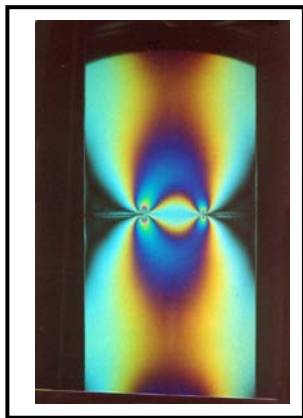


Fig. 2. Campo de esfuerzos observado en una placa con dos grietas colineales.

De la fotografía, se puede observar que a pesar de que existe una grieta más en la placa, el campo de esfuerzos producido sigue siendo simétrico, y esto es debido a que los planos de las dos grietas colineales coinciden. De esta manera, se puede decir que las condiciones de carga y la configuración de las grietas producen un estado de esfuerzos uniaxial, lo que implica que exista K_I únicamente. Pero que pasa cuando los planos de las grietas ya no coinciden, es decir,

cuando las grietas se empiezan a escalonar. Este último punto se analizará mas adelante. Los resultados del FIE obtenidos a través del método de las proyecciones se listan en la tabla 2. Se puede notar que a pesar de que el número de aplicaciones de carga se redujo, algunos valores se mantienen comunes para ambos casos, esto con la finalidad de poder emitir un juicio comparativo de ambos.

Tabla 2. Resultados de KI para el caso de una placa con dos grietas colineales.

| CARGA APLICADA P [N] | FACTOR DE INTENSIDAD DE ESFUERZOS K_I [MPa.√m] |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 147.15 | 0.16509 |
| 245.25 | 0.23036 |
| 490.5 | 0.34830 |
| 686.7 | 0.46787 |
| 981 | 0.87812 |
| 1471.5 | 1.34971 |
| 1962 | 1.63815 |
| 2452.5 | ----- |

3.1.3. Placa con dos Grietas Escalonadas.

Para este tercer caso se analizaron las mismas ocho condiciones de carga aplicadas al caso anterior de dos grietas colineales. La figura 3 ilustra el campo de esfuerzos que muestra el patrón de franjas isocromáticas de una placa con dos grietas escalonadas. En este caso, se puede observar claramente que existe cierta inclinación en el campo resultante, lo que indica que la simetría que existía en el campo de esfuerzos cuando las grietas se encontraban colineales se modificó al momento de escalonarlas. Esto provoca

que se produzca un modo mixto de carga, es decir existe tanto KI como KII. Sin duda, esto hace que el problema se vuelva más complejo, ya que se tienen que evaluar ambos factores.

Los resultados del FIE para este caso se muestran en la tabla 3.

Para todos los casos se puede observar que no se obtuvieron valores para condiciones de carga altos, esto debido a que conforme se aumenta el valor de la carga aplicada en el modelo fotoelástico, las franjas isocromáticas se van haciendo más tenues, lo que dificulta el definir el color de franja observado y por tanto el establecer el valor de franja para dicho caso.

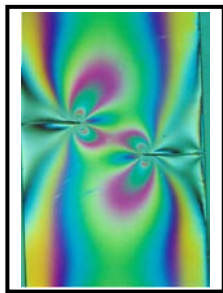


Fig. 3. Campo de esfuerzos observado en una placa con dos grietas escalonadas.

Tabla 3. Resultados de KI y KII para el caso de una placa con dos grietas escalonadas.

| CARGA APLICADA P [N] | FACTOR DE INTENSIDAD DE ESFUERZOS [MPa.√m] | |
|----------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------|
| | K_I | K_{II} |
| 147.15 | 0.09511 | 0.01858 |
| 245.25 | 0.17473 | 0.02947 |
| 490.5 | 0.40901 | 0.06195 |
| 686.7 | 0.56312 | 0.09998 |
| 981 | 0.75734 | 0.12756 |
| 1471.5 | 1.18195 | 0.18966 |
| 1962 | 1.45093 | 0.25321 |
| 2452.5 | ----- | ----- |

3.2 Análisis Numérico.

El análisis numérico efectuado a los tres casos de interacción de grietas se hace con la finalidad de tener un parámetro más de comparación con respecto a los resultados obtenidos en el apartado anterior. Para este efecto, se hace uso del programa ANSYS en su versión 5.5 [1] para evaluar el FIE, y del paquete FRANC2D/L [2] con objeto de simular la propagación de las grietas si la carga aplicada a los modelos continuara incrementándose.

Hay que mencionar que las condiciones de carga y las dimensiones de los modelos creados en ANSYS siguen siendo las mismas que para el caso experimental. Los resultados del FIE calculados para este fin se listan en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados generales de KI obtenidos en ANSYS.

| RESULTADOS PARA EL CASO DE UNA PLACA CON UNA GRIETA LATERAL | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| CARGA P [N] | FIE K_I [MPa.√m] |
| 147.15 | 0.16049 |
| 245.25 | 0.26748 |
| 343.35 | 0.37448 |
| 490.81 | 0.53497 |
| 686.7 | 0.74896 |
| 981 | 1.0699 |
| 1275.3 | 1.3909 |
| 1569.6 | 1.7119 |
| 1962 | 2.1399 |
| 2452.5 | 2.6748 |

RESULTADOS PARA EL CASO DE UNA PLACA CON DOS GRIETAS COLINEALES

| CARGA P [N] | FIE K_I [MPa. \sqrt{m}] |
|--------------------|---------------------------------|
| 147.15 | 0.11608 |
| 245.25 | 0.19989 |
| 490.5 | 0.39978 |
| 686.7 | 0.54892 |
| 981 | 0.79957 |
| 1471.5 | 1.1479 |
| 1962 | 1.5306 |
| 2452.5 | 1.9132 |

RESULTADOS PARA EL CASO DE UNA PLACA CON DOS GRIETAS ESCALONADAS

| CARGA P [N] | FIE [MPa. \sqrt{m}] | |
|--------------------|------------------------|---------------|
| | K_I | K_{II} |
| 147.15 | 0.11407 | 0.0159 |
| 245.25 | 0.19011 | 0.0265 |
| 490.5 | 0.38023 | 0.0529 |
| 686.7 | 0.53232 | 0.0742 |
| 981 | 0.76045 | 0.1059 |
| 1471.5 | 1.1407 | 0.1589 |
| 1962 | 1.5209 | 0.2118 |
| 2452.5 | 1.9975 | 0.3249 |

Además, de la tabla 4. se puede observar que los valores de K_I y K_{II} obtenidos por medio de ANSYS, convergen con los valores obtenidos por medio de la técnica fotoelástica, lo que de alguna forma valida la técnica experimental empleada en este trabajo.

3.3 Simulación en FRANC2D/L.

3.3.1 Placa con una Grieta Lateral.

La simulación de la propagación de la grieta se muestra en la figura 4, en ella se observa claramente que la propagación de la grieta (línea roja) sigue una trayectoria rectilínea, lo que indica que si se sigue incrementando el valor de la carga, la grieta continuará su camino hasta romper por completo el elemento. Esto se verifica con lo establecido experimentalmente ya que de esta misma forma falló la probeta ensayada.

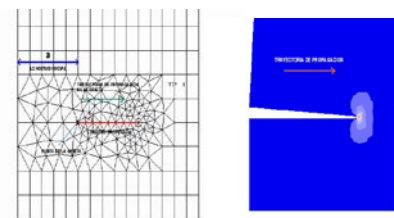


Fig. 4. Trayectoria de propagación para el caso de una placa con una grieta lateral.

3.3.2. Placa con dos Grietas Colineales.

En este caso, se puede ver como las singularidades de las puntas de las grietas interactúan, pero la simetría en el campo de esfuerzos resultante sigue existiendo, y esto es debido a que la carga y la geometría de la placa también son simétricas. Como resultado predomina el Modo I de carga. La figura 5. muestra la trayectoria de propagación de las dos grietas.

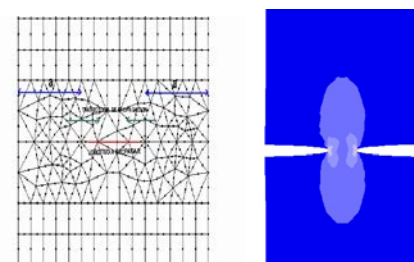


Fig. 5. Trayectoria de propagación para el caso de una placa con dos grietas colineales.

3.3.3. Placa con dos Grietas Escalonadas.

La figura 6 ilustra la manera en la cual la grieta se propaga, en ella se observa que la trayectoria seguida difiere bastante con la observada para el caso de dos grietas colineales; en este caso, se aprecia un tipo de curvamiento de las trayectorias de propagación.

Para explicar lo anterior, se tienen que considerar los siguientes hechos:

Las condiciones de carga siguen siendo simétricas.

Dado el escalonamiento de las grietas, la geometría ya no es simétrica. Esto implica que se tenga un modo mixto de carga I. y II. Por esta razón, se observa que en la punta de las grietas, la orientación del campo de esfuerzos tiende a inclinarse.

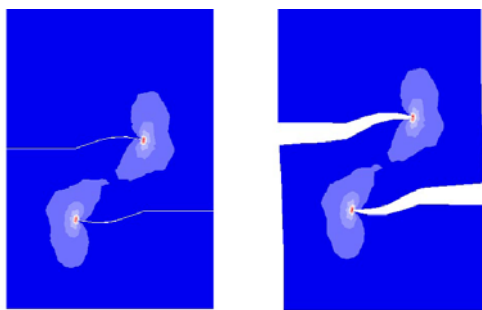


Figura 6. Trayectoria de propagación para el caso de dos grietas escalonadas.

4. Conclusiones.

Como conclusiones de este trabajo se pueden mencionar las siguientes:

Se puede establecer que el Factor de Intensidad de Esfuerzos disminuye al introducir una grieta más, manteniendo el mismo nivel de carga y la geometría global

de la placa, es decir, el FIE para el caso de una grieta lateral es mayor al FIE de los casos de dos grietas colineales y de dos grietas escalonadas; y esto debido a que la energía de superficie se divide entre el número de grietas existentes en el material.

La interacción del campo de esfuerzos de dos grietas varía de acuerdo a la configuración de las mismas, se encontró que para el caso de dos grietas colineales el campo de esfuerzos se mantiene simétrico, de esta manera la trayectoria que siguen las grietas es una línea recta, provocando que el material se parta por la mitad; en cambio, para el caso de dos grietas escalonadas el campo de esfuerzos se distorsiona provocando que la trayectoria de propagación que siguen las grietas sea modificada debido al escalonamiento que existe.

También se puede decir que los métodos empleados en este trabajo son bastante confiables y esto se ve reflejado en los resultados obtenidos en cada uno de ellos, de esta manera se puede validar la eficacia de cada uno de ellos, sobre todo de la técnica experimental fotoelástica empleada.

5. Bibliografía.

1. Swanson Analysis Systems Inc., "The ANSYS Program", Doc. MPB-A3-5/92.
2. Swenson D., and Mark J., "FRANC2D/L: A Crack Propagation Simulator for Plane Layered Structures", Version 1.3 User's Guide, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
3. Urriolagoitia C.G., "Directional Stability of Cracks Under Biaxial Stresses", Tesis Doctoral, Department of Mechanical Engineering, Imperial College of Science and Technology, University of London, 1976.
4. Griffith, A., "The theory of rupture", Proc. 1st Int. Congr. Appl. Mech. Delft, 1924.